

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-202442

(P2002-202442A)

(43) 公開日 平成14年7月19日 (2002. 7. 19)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テーマコード(参考) |
|--------------------------------------|-------|---------------|-----------------|
| G 0 2 B 6/42 | | G 0 2 B 6/42 | 2 H 0 3 7 |
| 3/00 | | 3/00 | A 5 C 0 5 1 |
| H 0 1 S 5/022 | | H 0 1 S 5/022 | 5 C 0 7 2 |
| 5/323 | 6 1 0 | 5/323 | 6 1 0 5 F 0 7 3 |
| H 0 4 N 1/036 | | H 0 4 N 1/036 | A |
| 審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 13 頁) 最終頁に続く | | | |

(21) 出願番号 特願2001-273849(P2001-273849)

(22) 出願日 平成13年9月10日 (2001. 9. 10)

(31) 優先権主張番号 特願2000-336850(P2000-336850)

(32) 優先日 平成12年11月6日 (2000. 11. 6)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 永野 和彦

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 岡崎 洋二

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外1名)

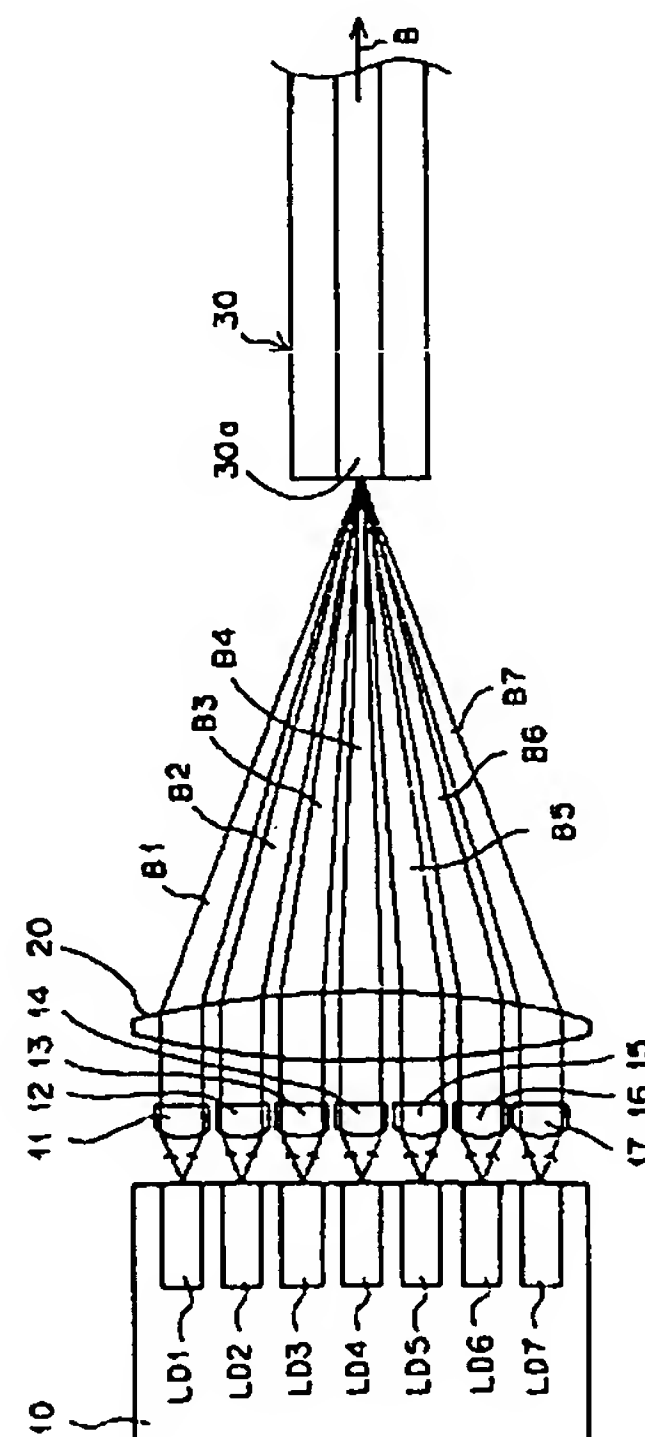
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 合波レーザー光源および露光装置

(57) 【要約】

【課題】 高出力が得られる低コストの合波レーザー光源を得る。

【解決手段】 複数の半導体レーザーLD1～7からそれぞれ出射したレーザービームB1～7を、例えばコリメーターレンズ11～17および集光レンズ20からなる集光光学系で集光した上でマルチモード光ファイバー30に結合させて合波する。



BEST AVAILABLE COPY

(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の半導体レーザーと、

1本のマルチモード光ファイバーと、

前記複数の半導体レーザーからそれぞれ出射したレーザービームを集光した上で前記マルチモード光ファイバーに結合させる集光光学系とを備えてなる合波レーザー光源。

【請求項2】 前記複数の半導体レーザーが、各々の活性層と平行な方向に発光点が1列に並ぶように配設され、

前記集光光学系が、前記発光点の並び方向の開口径が該方向に直角な方向の開口径よりも小さく形成されて、各半導体レーザー毎に設けられた複数のコリメーターレンズ、およびこれらのコリメーターレンズで平行光化された複数のレーザービームをそれぞれ集光して前記マルチモード光ファイバーの端面で収束させる集光レンズから構成されていることを特徴とする請求項1記載の合波レーザー光源。

【請求項3】 前記複数のコリメーターレンズが一体化されて、レンズアレイとして構成されていることを特徴とする請求項2記載の合波レーザー光源。

【請求項4】 前記複数の半導体レーザーを実装するブロックが複数の分割され、互いに張り合わせて一体化されていることを特徴とする請求項1から3いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項5】 前記半導体レーザーとしてGa N系半導体レーザーが用いられていることを特徴とする請求項1から4いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項6】 前記マルチモード光ファイバーとして、コア径が50 μ m以下で、NAが0.3以下のものが用いられていることを特徴とする請求項1から5いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項7】 前記マルチモード光ファイバーとして、コア径×NAの値が7.5 μ m以下のものが用いられていることを特徴とする請求項1から6いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項8】 前記半導体レーザーが3～10個、一列に並べて設けられていることを特徴とする請求項1から7いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項9】 前記半導体レーザーが6または7個、一列に並べて設けられていることを特徴とする請求項8記載の合波レーザー光源。

【請求項10】 前記半導体レーザーとして、発光幅が1.5～5 μ mのものが用いられていることを特徴とする請求項1から9いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項11】 前記半導体レーザーとして、発光幅が2～3 μ mのものが用いられていることを特徴とする請求項10記載の合波レーザー光源。

【請求項12】 前記複数の半導体レーザーが、レーザービームの照射を受ける側から見た状態で2次元的に配

2

列固定されていることを特徴とする請求項1から11いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項13】 前記マルチモード光ファイバーが複数、少なくとも出射端部において1次元アレイ状に配設され、それらのマルチモード光ファイバーの各々に前記複数の半導体レーザーおよび集光光学系が組み合わされていることを特徴とする請求項1から12いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項14】 前記マルチモード光ファイバーが複数、少なくとも出射端部においてバンドル状に配設され、それらのマルチモード光ファイバーの各々に前記複数の半導体レーザーおよび集光光学系が組み合わされていることを特徴とする請求項1から12いずれか1項記載の合波レーザー光源。

【請求項15】 請求項13または14に記載の合波レーザー光源を露光用光源として備えたことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は合波レーザー光源に関し、特に詳細には、複数の半導体レーザーから発せられたレーザービームを光ファイバーを利用して合波する合波レーザー光源に関するものである。

【0002】また本発明は、上述のような合波レーザー光源を露光用光源として用いる露光装置に関するものである。

【0003】

【従来の技術】従来、紫外域のレーザービームを発生させる装置として、半導体レーザー励起固体レーザーから発せられた赤外光を紫外域の第3高調波に変換する波長変換レーザーや、エキシマレーザーや、Arレーザーが実用に供されている。

【0004】さらには近時、例えば1998年発行のJpn. Appl. phys. Lett., Vol. 37, p. L1020に示されるように、400 nm近傍の波長のレーザービームを発するGa N系半導体レーザーも提供されている。

【0005】このような波長のレーザービームを発する光源は、350～420 nmの紫外領域を含んだ所定の波長域（以下「紫外域」という）に感度を有する感光材料を露光する露光装置において、露光用光源として適用することも考えられている。その場合の露光用光源は、当然ながら、感光材料を感光させるのに十分な出力を備えることが求められる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし上記エキシマレーザーは、装置が大型で、コストやメンテナンスコストも高いという問題がある。

【0007】また、赤外光を紫外域の第3高調波に変換する波長変換レーザーは、波長変換効率が非常に低いことから、高出力を得るのは極めて困難になっている。現

50

(3)

3

在のところは、30Wの半導体レーザーで固体レーザー媒質を励起して10Wの基本波（波長1064nm）を発振させ、それを3Wの第2高調波（波長532nm）に変換し、それら両者の和周波である1Wの第3高調波（波長355nm）を得る、というのが現在の実用レベルである。その場合の半導体レーザーの電気-光効率は50%程度であり、そして紫外光への変換効率は1.7%程度と非常に低いものとなっている。そしてこのような波長変換レーザーは、高価な光波長変換素子を用いるために、コストがかなり高いものとなっている。

【0008】またArレーザーは電気-光効率が0.005%と非常に低く、寿命が1000時間程度と非常に短いという問題がある。

【0009】一方、GaN系半導体レーザーについては、低転位のGaN結晶基板が得られないことから、ELOGという成長方法によって約5 μ m程度の低転位領域を作り出し、その上にレーザー領域を形成して高出力化と高信頼性を実現する試みがなされている。しかし、こうして作製されるGaN系半導体レーザーにおいても、大面積に亘って低転位の基板を得るのが難しいので、500mW～1W級の高出力なものは未だ商品化されていない。

【0010】また、半導体レーザーの高出力化の別の試みとして、例えば1つで100mWの光を出力するキャビティを100個形成することで10Wの出力を得るようなことも考えられているが、100個程度の多数のキャビティを高歩留まりで作成することは、ほとんど現実性が無いと言える。特に、シングルキャビティの場合でも99%以上の高歩留まり化は困難であるGaN系半導体レーザーにあっては、なおさらである。

【0011】本発明は上記の事情に鑑み、高出力が得られる低コストの合波レーザー光源を提供することを目的とする。

【0012】また本発明は、上述のような合波レーザー光源を用いることにより、高強度のレーザー光で感光材料を露光可能な露光装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明による合波レーザー光源は、複数の半導体レーザーと、1本のマルチモード光ファイバーと、前記複数の半導体レーザーからそれぞれ出射したレーザービームを集光した上で前記マルチモード光ファイバーに結合させる集光光学系とを備えてなることを特徴とするものである。

【0014】なお上述の構成においては、複数の半導体レーザーが、各々の活性層と平行な方向に発光点が1列に並ぶように配設され、集光光学系が、前記発光点の並び方向の開口径が該方向に直角な方向の開口径よりも小さく形成されて、各半導体レーザー毎に設けられた複数のコリメーターレンズ、およびこれらのコリメーターレンズで平行光化された複数のレーザービームをそれぞれ

4

集光して前記マルチモード光ファイバーの端面で収束させる集光レンズから構成されていることが望ましい。

【0015】また、上記複数のコリメーターレンズは互いに一体化されて、レンズアレイとして構成されることが望ましい。

【0016】他方、上記複数の半導体レーザーを実装するブロックは、複数の分割され、互いに張り合わせて一体化されていることが望ましい。

【0017】また複数の半導体レーザーは、一列に並べて配置する場合には3～10個、さらに好ましくは6または7個設けられることが望ましい。またこの半導体レーザーとしては、発光幅が1.5～5 μ m、さらに好ましくは2～3 μ mのものが用いられるのが望ましい。そしてこの半導体レーザーとしては、GaN系半導体レーザーが用いられることが望ましい。

【0018】一方上記マルチモード光ファイバーとしては、コア径が50 μ m以下で、NA（開口数）が0.3以下のものが用いられることが望ましい。さらに、このマルチモード光ファイバーとしては、コア径×NAの値が7.5 μ m以下のものが用いられることが望ましい。

【0019】また本発明の合波レーザー光源において、複数の半導体レーザーは、レーザービームの照射を受ける側から見た状態で2次元的に配列固定されていることが望ましい。

【0020】本発明の合波レーザー光源は、上述したマルチモード光ファイバーを1本だけ用いて構成されてもよいが、好ましくは、該マルチモード光ファイバーを複数用いて、それらのマルチモード光ファイバーの各々に複数の半導体レーザーおよび集光光学系を組み合わせ、各マルチモード光ファイバーから高出力のレーザービームを発するように構成することもできる。そのようにする場合、複数のマルチモード光ファイバーは少なくとも出射端部において1次元アレイ状、あるいは、バンドル状に配設されるのが望ましい。

【0021】本発明による露光装置は、上記のように複数のマルチモード光ファイバーが1次元アレイ状、あるいは、バンドル状に配設されてなる本発明の合波レーザー光源を露光用光源として備えたことを特徴とするものである。

【0022】

【発明の効果】本発明の合波レーザー光源は、複数の半導体レーザーからそれぞれ出射したレーザービームを集光してマルチモード光ファイバーに結合させる極めて簡単な構成のものであって、特に作製が困難な要素も必要としないので、低コストで形成可能となる。

【0023】また本発明の合波レーザー光源において、特に複数の半導体レーザーが、各々の活性層と平行な方向に発光点が1列に並ぶように配設され、集光光学系が、前記発光点の並び方向の開口径が該方向に直角な方向の開口径よりも小さく形成されて、各半導体レーザー

(4)

5

毎に設けられた複数のコリメーターレンズ、およびこれらのコリメーターレンズで平行光化された複数のレーザービームをそれぞれ集光して前記マルチモード光ファイバーの端面で収束させる集光レンズから構成された場合には、複数の半導体レーザーの配置ピッチをより短くして、より高密度に配置できるようになる。このように複数の半導体レーザーをより高密度に配置しておく、複数のレーザービームの光ファイバー端面における位置ずれがより小さく抑えられるようになるので、複数の半導体レーザー、マルチモード光ファイバーおよび集光光学系の組立位置精度を比較的緩くできるという効果が得られ、さらに、この組立位置精度を緩くできることから、合波本数をより多くして高出力化できる。その理由は、後に実施の形態に沿って詳しく説明する。

【0024】また、上述のような複数のコリメーターレンズが互いに一体化されてレンズアレイとして構成される場合は、複数のコリメーターレンズが1個ずつ別体に形成される場合と比較して、各レンズの周辺部に大きな非有効領域ができてしまうことを避けられるから、各レンズを互いにより近接させて配置可能となる。そうであれば、複数の半導体レーザーをよりさらに高密度に配置できるので、上記の組立位置精度を緩くできるという効果、合波本数をより多くして高出力化できるという効果がさらに顕著なものとなる。

【0025】さらにこの場合は、コリメーターレンズの位置調整作業が、1つのレンズアレイの位置を調整するだけで済むので、この作業が簡素化される。

【0026】また、印刷、医用画像の分野や、PCB（プリント・サーキット・ボード）、PDP（プラズマディスプレイ）、LCD（液晶ディスプレイ）等による画像を感光材料に露光する場合等においては、上記マルチモード光ファイバーとしてコア径が $50\mu\text{m}$ 以下のものを用いると、露光スポットを微細なものにして高精細な画像を露光できるようになる。また、そのマルチモード光ファイバーのNAが0.3以下であると、上述のような高精細画像を露光する上で十分な焦点深度が確保され、鮮鋭度の高い画像を露光可能となる。

【0027】また、マルチモード光ファイバーとしてコア径 \times NAの値が $7.5\mu\text{m}$ 以下のものを用いる場合、それらの組合せとしては例えば $50\mu\text{m}\times 0.15$ 、 $40\mu\text{m}\times 0.188$ 、 $30\mu\text{m}\times 0.25$ 、 $25\mu\text{m}\times 0.3$ 等が挙げられる。このような特性のマルチモード光ファイバーを用いると、そのNAと同程度のNAのコリメーターレンズで各半導体レーザーからのレーザービームを平行光化でき、NA=0.3の集光レンズで $25\mu\text{m}$ 以下のスポットに合波レーザービームを集光させることも可能になる。それにより、高解像度と十分な焦点深度を確保できるようになる。

【0028】他方、上記複数の半導体レーザーを実装するブロックが複数に分割され、互いに張り合わせて一体化されている場合は、1つのブロックに半導体レーザー

6

を全て実装する場合と比較して、実装の歩留まりを向上させることができる。例えば、1つの半導体レーザーの実装歩留まりが98%の場合、6個の半導体レーザーを1つのブロックに全て実装する場合の全体の実装歩留まりは86%（ $=0.98^6 \times 100$ ）であり、それに対して3個ずつ2つのブロックに実装する場合のそれは、2つのブロックを接合する歩留まりはほぼ100%を実現できるので、94%（ $=0.98^3 \times 100$ ）に向上する。

【0029】また本発明の合波レーザー光源において、半導体レーザーが3個以上設けられれば、従来知られている偏光合波では2個の半導体レーザーからのレーザービームしか合波できないのに対し、それを上回る高出力の合波ビームを得ることが能になる。ただし、1つの半導体レーザーの実装歩留まりが通常その程度であるように98%であるとする、半導体レーザーを10個設ける場合には、実装歩留まりが82%まで低下する。それ以上の歩留まり低下は現実上避けなければならないので、本発明の好ましい実施の形態においては、この半導体レーザーの数の上限を10個とする。

【0030】さらに、半導体レーザーの数が10個一列に並べて配置される場合、画像形成用のコア径 $50\mu\text{m}$ 以下でNA0.3以下、もしくはコア径 \times NA $=7.5\mu\text{m}$ 以下のマルチモード光ファイバーを用いたとき、求められる実装精度は $0.1\mu\text{m}$ 未満と非常に厳しい値になってしまうが、一列に並べる半導体レーザーの数を6または7個としておくことにより、求められる実装精度は $0.3\sim 1\mu\text{m}$ 未満と著しく緩和される。また、半導体レーザーの数が6または7個の場合は、3個の場合と比べて2倍以上の高出力を得ることができる。

【0031】また半導体レーザーとして発光幅が $1.5\mu\text{m}$ 以上のものを適用することにより、例えばそれがGaN系半導体レーザーである場合は、完全単一横モード構造のものの最大出力（30mW程度）と比較して、高い出力（50mW以上）を得ることができる。一方、半導体レーザーとして発光幅が $5\mu\text{m}$ 以下のものを適用することにより、画像形成用のコア径 $50\mu\text{m}$ 以下でNA0.3以下、もしくはコア径 \times NA $=7.5\mu\text{m}$ 以下のマルチモード光ファイバーに対して半導体レーザーが3個以上の集光結合系を構成可能となる。また、半導体レーザーとして発光幅が $2\sim 3\mu\text{m}$ のものを適用することにより、前記の画像形成用の光学系において半導体レーザーが6または7個の集光結合系を構成可能となる。

【0032】また複数の半導体レーザーを、レーザービームの照射を受ける側から見た状態で2次元的に配列すれば、多数の半導体レーザーを高密度に配置できるから、1本のマルチモード光ファイバーにより多数のレーザービームを入射させることが可能となつて、より高出力の合波レーザービームを得ることができる。

【0033】他方、本発明の合波レーザー光源が、複数のマルチモード光ファイバーを少なくとも出射端部にお

7

いて1次元アレイ状、あるいはバンドル状に配設してなる場合は、それらの光ファイバーから高出力のレーザービームを1次元あるいは2次元に整列した状態で出射させることができる。そうであれば、整列して出射する複数のレーザービームの各々を、変調部がライン状、あるいは2次元状に配列されてなるGLVやDMD等の空間光変調素子の各変調部に入射させて、画像露光等のために効率良く変調させることができる。

【0034】そこで、上述のように構成された合波レーザー光源を露光用光源として用いる本発明の露光装置は、上記空間光変調素子を併せて用いて、2次元に整列して出射するレーザービームをそのまま感光材料に2次元状に照射することにより、あるいは1次元あるいは2次元に整列して出射するレーザービームを感光材料に照射するとともに感光材料をレーザービームに対して相対的に副走査移動させることにより、該感光材料に2次元画像を露光可能なものとなる。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0036】図1は、本発明の第1の実施の形態による合波レーザー光源の平面形状を示すものである。図示されるようにこの合波レーザー光源は、銅からなるヒートブロック10上に配列固定された一例として7個のチップ状態の横マルチモードGaN系半導体レーザーLD1、LD2、LD3、LD4、LD5、LD6およびLD7と、各GaN系半導体レーザーLD1、LD2、LD3、LD4、LD5、LD6およびLD7に対してそれぞれ設けられたコリメーターレンズ11、12、13、14、15、16および17と、1つの集光レンズ20と、1本のマルチモード光ファイバー30とから構成されている。

【0037】なおこの図1は、本実施の形態の合波レーザー光源の基本構成を示すものであり、コリメーターレンズ11～17および集光レンズ20の形状は概略的に示してある。また、それらの取付状態の詳細については後に説明する。なお、ヒートブロック10に対するGaN系半導体レーザーLD1～7の取付状態を図2に示す。

【0038】GaN系半導体レーザーLD1～7は、発振波長が例えば全て共通の405nmであり、最大出力も全て共通の100mWである。これらのGaN系半導体レーザーLD1、LD2、LD3、LD4、LD5、LD6およびLD7から発散光状態で出射したレーザービームB1、B2、B3、B4、B5、B6およびB7は、それぞれコリメーターレンズ11、12、13、14、15、16および17によって平行光化される。

【0039】平行光とされたレーザービームB1～7は、集光レンズ20によって集光され、マルチモード光ファイバー30のコア30aの入射端面上で収束する。本例ではコリメーターレンズ11～17および集光レンズ20によ

(5)

8

バー30とによって合波光学系が構成されている。すなわち、集光レンズ20によって上述のように集光されたレーザービームB1～7がこのマルチモード光ファイバー30のコア30aに入射してそこを伝搬し、1本のレーザービームBに合波されてマルチモード光ファイバー30から出射する。なおマルチモード光ファイバー30としては、ステップインデックス型のもの、グレーデッドインデックス型のもの、およびそれらの複合型のものが全て適用可能である。

【0040】次に、この合波レーザー光源からなる紫外光高輝度合波ファイバーモジュールについて詳しく説明する。図3、4および5はそれぞれ、この紫外光高輝度合波ファイバーモジュールの平面形状、側面形状および部分正面形状を示すものである。なおこれらの図では、コリメーターレンズ11～17および集光レンズ20の形状や取付状態を詳しく示してある。

【0041】本例においてモジュールを構成する光学要素は、上方が開口した箱状のパッケージ40内に收容され、このパッケージ40の上記開口がパッケージ蓋41によって閉じられることにより、該パッケージ40およびパッケージ蓋41が画成する閉空間内に密閉保持される。

【0042】パッケージ40の底面にはベース板42が固定され、このベース板42の上面に前記ヒートブロック10が取り付けられ、そしてこのヒートブロック10にコリメーターレンズ11～17を保持するコリメーターレンズホルダ44が固定されている。さらにベース板42の上面には、集光レンズ20を保持する集光レンズホルダ45と、マルチモード光ファイバー30の入射端部を保持するファイバーホルダ46が固定されている。またGaN系半導体レーザーLD1～7に駆動電流を供給する配線類47は、パッケージ40の横壁面に形成された開口を通してパッケージ外に引き出されている。

【0043】なお図3においては、図の煩雑化を避けるために、GaN系半導体レーザーLD1～7のうち1つのGaN系半導体レーザーLD7にのみ番号を付し、同様にコリメーターレンズ11～17のうち1つのコリメーターレンズ17にのみ番号を付してある。

【0044】図5は、上記コリメーターレンズ11～17の取付部分の正面形状を示すものである。ここに示されるように各コリメーターレンズ11～17は、非球面円形レンズの光軸を含む領域を細長く切り取った形とされたものであり、例えば樹脂あるいは光学ガラスをモールド成形することによって形成される。図6の(1)および(2)にはそれぞれ、それらを代表して1つのコリメーターレンズ17の拡大側面形状および正面形状を、要部の寸法(単位はmm)も入れて示してある。

【0045】図5および6に示される通りコリメーターレンズ11～17は、GaN系半導体レーザーLD1～7の発光点の並び方向(図5の左右方向)の開口径が該方向に直角な方向(図5の上下方向)の開口径よりも小さく

(6)

9

形成されて、上記発光点の並び方向に密接配置されている。

【0046】一方GaN系半導体レーザーLD1～7としては、発光幅が $2\mu\text{m}$ で、活性層と平行な方向、直角な方向の拡がり角が一例としてそれぞれ 10° 、 30° の状態で作るレーザービームB1～7を発するものが用いられている。これらのGaN系半導体レーザーLD1～7は、活性層と平行な方向に発光点が1列に並ぶように配設されている。

【0047】したがって、各発光点から発せられたレーザービームB1～7は、上述のように細長い形状とされた各コリメーターレンズ11～17に対して、拡がり角最大の方向が開口径大の方向と一致し、拡がり角最小の方向が開口径小の方向と一致する状態で入射することになる。つまり、細長い形状とされた各コリメーターレンズ11～17は、入射するレーザービームB1～7の楕円形の断面形状に対応して、非有効部分を極力少なくして使用されることになる。本実施の形態では具体的に、コリメーターレンズ11～17の開口径は水平方向、垂直方向で各々 1.1mm 、 4.6mm であり、それらに入射するレーザービームB1～7の水平方向、垂直方向のビーム径は各々 0.9mm 、 2.6mm である。また、コリメーターレンズ11～17の各焦点距離 $f_1=3\text{mm}$ 、 $\text{NA}=0.6$ 、レンズ配置ピッチ $=1.25\text{mm}$ である。

【0048】また図7の(1)および(2)はそれぞれ、集光レンズ20の拡大側面形状および正面形状を、要部の寸法(単位は mm)も入れて示すものである。ここに示されるように集光レンズ20も、非球面円形レンズの光軸を含む領域を細長く切り取って、コリメーターレンズ11～17の並び方向つまり水平方向に長く、それと直角な方向に短い形状とされている。そして該集光レンズ20の焦点距離 $f_2=12.5\text{mm}$ 、 $\text{NA}=0.3$ である。この集光レンズ20も、例えば樹脂あるいは光学ガラスをモールド成形することによって形成される。

【0049】他方、マルチモード光ファイバー30としては、三菱電線工業株式会社製のグレーデッドインデックス型光ファイバーを基本として、コア中心部がグレーデッドインデックスで外周部がステップインデックスである、コア径 $=25\mu\text{m}$ 、 $\text{NA}=0.3$ 、端面コート透過率 $=99.5\%$ 以上のものが用いられている。本例の場合、先に述べたコア径 $\times\text{NA}$ の値は $7.5\mu\text{m}$ である。

【0050】本実施の形態の構成においては、レーザービームB1～7のマルチモード光ファイバー30への結合効率が0.9となる。したがって、GaN系半導体レーザーLD1～7の各出力が 100mW のときには、出力 630mW ($=100\text{mW}\times 0.9\times 7$)の合波レーザービームBが得られることになる。

【0051】以上説明した紫外光高輝度合波ファイバーモジュールは図8に示すように、マルチモード光ファイバー30の出射端部を1次元アレイ状に配設して、それら

10

のマルチモード光ファイバー30の各々から高輝度の紫外レーザービームBを射出する光源装置を構成することができる。具体的には、出力 630mW の合波レーザービームBを出射させるマルチモード光ファイバー30を16本並べることで、 10W もの超高出力でかつ高光密度($10\text{W}/(125\mu\text{m}\times 16\text{本})=5\text{W}/\text{mm}$)を実現でき、エネルギー効率もGaN系半導体レーザーの発光効率と同等のほぼ15%という高い値を実現できる。

【0052】また、上記マルチモード光ファイバー30の出射端部をバンドル状に配設して、光源装置を構成することも可能である。そのような光源装置は、1次元あるいは2次元空間光変調素子と組み合わせて、画像露光装置に好適に利用され得るものとなる。そのような画像露光装置については、後に詳しく説明する。

【0053】次に、図9を参照して本発明の第2の実施の形態による合波レーザー光源について説明する。なおこの図9において、図1中の要素と同等の要素には同番号を付してあり、それらについての説明は特に必要のない限り省略する。

【0054】この第2の実施の形態の合波レーザー光源は、図1に示した合波レーザー光源と比べると、個別に形成された7個のコリメーターレンズ11～17に代えて、7つのレンズ要素50aを有するコリメーターレンズアレイ50が用いられた点が基本的に異なるものである。

【0055】前述した通りの形状とされた7個のコリメーターレンズ11～17を用いる場合も、それらを互いに密接配置して、GaN系半導体レーザーLD1～7の配置ピッチを小さくし、空間利用効率を高めることができるが、上述のコリメーターレンズアレイ50を用いることにより、その効果をより一層高めることが可能である。また、そのようにして空間利用効率が高められると、GaN系半導体レーザーLD1～7、集光光学系およびマルチモード光ファイバー30の組立位置精度を比較的緩くできるという効果も得られる。以下、その理由について詳しく説明する。

【0056】図9の中に示すように、コリメーターレンズアレイ50の各レンズ要素50aの(図1の構成においては各コリメーターレンズ11～17の)焦点距離および開口数をそれぞれ f_1 、 NA_1 、集光レンズ20の焦点距離を f_2 、マルチモード光ファイバー30の開口数を NA_2 、空間利用効率を η とする。なおこの空間利用効率 η は、レーザービームB1と～レーザービームB7とで挟まれる空間中で、7本のレーザービームB1～7の光路が占める割合で規定するものであり、図9の場合のように7本のレーザービームB1～7の光路が互いに完全密接する状態が $\eta=1$ である。

【0057】上記の条件下では、レンズ系の倍率 a 、つまりGaN系半導体レーザーLD1～7の各発光点におけるビームスポット径に対する、マルチモード光ファイバー30のコア端面上におけるビームスポット径の比は下

(7)

11

式で与えられる。なおNは合波本数である。

【0058】

【数1】

$$a = \frac{f_2}{f_1} = \frac{NA_1}{\left(\frac{NA_2 \times \eta}{N} \right)} = \frac{NA_1 \times N}{NA_2 \times \eta}$$

この式から明らかな通り、空間利用効率 η がより大きいほど倍率Mは低下する。そして倍率aがより小さいほど、GaN系半導体レーザーLD1～7、集光光学系およびマルチモード光ファイバー30の相対位置関係がずれた際に、レーザービームB1～7がマルチモード光ファイバー30のコア端面上で動く距離が小さくなる。そこで、GaN系半導体レーザーLD1～7、集光光学系およびマルチモード光ファイバー30の組立位置精度を比較的緩くしておいても、レーザービームB1～7をマルチモード光ファイバー30のコア30aに正常に入射させることが可能になる。このように組立位置精度を緩くできれば、さらに合波本数を増やすことも可能になり、高出力化できる。これは、上記空間利用効率 η が大きいと倍率Mが低下することにより、合波本数を増やすことで倍率Mが増大することを補って、合波本数を多く設定できるからである。

【0059】以上、合波本数を7本とした2つの実施の形態について説明したが、本発明の合波レーザー光源における合波本数はこの7本に限られるものではなく、2本以上のいずれの数を選択されてもよい。ただし好ましい合波本数は、先に述べた通りである。

【0060】次に、図10を参照して本発明の第3の実施形態について説明する。この第3実施形態の合波レーザー光源は、一例として5個のGaN系半導体レーザーLD11、LD12、LD13、LD14およびLD15と、合波光学系250とから構成されている。

【0061】GaN系半導体レーザーLD11～15は、発振波長が例えば全て共通の400nmであり、出力も全て共通の50mWである。そしてこれらのGaN系半導体レーザーLD11～15に対してそれぞれ、発散光状態で出射したレーザービームB11、B12、B13、B14、B15を集光する集光レンズH11、H12、H13、H14、H15が設けられている。GaN系半導体レーザーLD11～15は、それぞれ光軸がマルチモード光ファイバー251のコア251aの一端面上の一点を向くように配設され、集光レンズH11、H12、H13、H14、H15は、それぞれこの一点上でレーザービームB11、B12、B13、B14、B15を収束させるように配設されている。

【0062】マルチモード光ファイバー251は、一例として直径50 μ mのコア251aがそれよりも低屈折率のクラッド251bに被覆されてなり、集光レンズH11～15とともに合波光学系250を構成している。すなわち、集光レンズH11～15によって上述のように集光されたレーザ

12

ービームB11～15がこのマルチモード光ファイバー251のコア251aに入射してそこを伝搬し、1本のレーザービームB10に合波されてマルチモード光ファイバー251から出射する。

【0063】この構成において、レーザービームB11～15の最大入射角 θ は、マルチモード光ファイバー251のNA（開口数）に対応する最大受光角 θ_{MAX} 以内の値とする。例えばNA=0.2の場合、 $\sin \theta_{MAX}=0.2$ より $\theta_{MAX}=11^\circ$ であるので、最大入射角 θ が 11° 以内となるようにする。例えば出力50mWの5個のGaN系半導体レーザーLD11～15を用い、図示のように5本のレーザービームB11～15が互いに密接する状態では、各レーザービームB11～15の収束角 $\alpha=4.4^\circ$ とすると、最大入射角 θ は約 11° で 11° 以内に収まり、250mWの合波レーザービームB10を得ることができる。

【0064】以上述べた合波方式を適用する場合は、本実施の形態のように複数の半導体レーザーを1次元的に配列させる他、より多数の半導体レーザーを適用できるように、それらを2次元的に配列させてもよい。

【0065】すなわち、本実施の形態では、複数の半導体レーザーを円弧に沿って配列させているが、複数の半導体レーザーを所定の球面に沿って配列させるとともに、該球面の中心位置にコア端面の中心が位置するように1本のマルチモード光ファイバーを配置し、複数の半導体レーザーからコア端面に向けてレーザービームを射出させて、それらのレーザービームを合波させればよい。

【0066】また、先に述べた第1および2の実施形態、並びに下記第4の実施形態におけるように、複数の半導体レーザーをヒートブロック等の支持部材に1列に並べて固定する場合は、各々複数の半導体レーザーを固定したその支持部材を複数積層した構造を採用して、多数の半導体レーザーを2次元的に配列させることができる。

【0067】以上のようにして多数の半導体レーザーを、レーザービームの照射を受ける側から見た状態で2次元的に配列すれば、多数の半導体レーザーを高密度に配置できるから、1本のマルチモード光ファイバーにより多数のレーザービームを入射させることが可能となつて、より高出力の合波レーザービームを得ることができる。

【0068】次に、図11を参照して本発明の第4の実施形態について説明する。この第4実施形態の合波レーザー光源も、互いに同じ波長の複数のレーザービームを合波するようにしたものであり、銅からなるヒートブロック260上に配列固定された8個のチップ状態のGaN系半導体レーザーLD21、LD22、LD23、LD24、LD25、LD26、LD27およびLD28と、合波光学系270とから構成されている。

【0069】GaN系半導体レーザーLD21～28は、発

(8)

13

振波長が例えば全て共通の400nmであり、出力も全て共通の50mWである。そしてこれらのGa_{0.5}N系半導体レーザーLD21, LD22, LD23, LD24, LD25, LD26, LD27およびLD28から発散光状態で出射したレーザービームB21, B22, B23, B24, B25, B26, B27およびB28は、マイクロレンズアレイ261によって平行光化される。

【0070】このマイクロレンズアレイ261によって平行光とされたレーザービームB21~28は、1つの集光レンズ262によって集光され、マルチモード光ファイバー251のコア251aの一端面上で収束する。マルチモード光ファイバー251は、マイクロレンズアレイ261および集光レンズ262とともに合波光学系270を構成している。すなわち、集光レンズ262によって上述のように集光されたレーザービームB21~28がこのマルチモード光ファイバー251のコア251aに入射してそこを伝搬し、1本のレーザービームB20に合波されてマルチモード光ファイバー251から出射する。

【0071】この構成においては、マイクロレンズアレイ261の各レンズのNA（開口数）を0.5とし、集光レンズ262による各ビームの集束角 $\alpha=2.75^\circ$ とすると、レーザービームB21~28のコア251a上での収束スポット径は約 $1.4\mu\text{m}$ となる。そして、Ga_{0.5}N系半導体レーザーLD21~28の出力が全て50mWのとき、合波されたレーザービームB20の出力は400mWとなる。

【0072】また本実施の形態では、8個のチップ状態のGa_{0.5}N系半導体レーザーLD21~28をヒートブロック260の上にボンディングしている。

【0073】次に図12~16を参照して、図3~5に示した紫外光高輝度合波ファイバーモジュールを利用した画像露光装置について説明する。

【0074】図12は、この画像露光装置110Aの全体形状を示すものである。図示の通りこの画像露光装置110Aは、複数のレーザービームを生成する光源ユニット120と、光源ユニット120で生成された複数のレーザービームを集光する露光ヘッド130と、露光ヘッド130を副走査方向に沿って移動させる露光ヘッド移動部140と、画像が記録される記録媒体Fが装着されかつ該記録媒体Fが主走査方向に移動するように図12の矢印R方向に回転駆動されるドラム150と、主として光源ユニット120の冷却用の風（以下、「冷却風」という。）を生成する冷却用ブロー160とを含んで構成されている。

【0075】なお記録媒体Fは、ドラム150に巻き付けることができる可撓性記録材料であって、具体的には感光もしくは感熱性のフィルム、感光もしくは感熱性の印刷用刷版等である。また、このように記録媒体Fをドラム150に巻き付ける形態ではなく、ドラム150自体が感光もしくは感熱性を有する場合にも、本発明は同様に適用可能である。

【0076】光源ユニット120には、図3~5に示した

14

紫外光高輝度合波ファイバーモジュール（以下、単に合波ファイバーモジュールという）121が表面に配置され、裏面に放熱フィン123（図13も参照）が設けられた光源基板124と、光源基板124の一端部に垂直に取り付けられると共にSC型光コネクタ125Aのアダプタが複数（合波ファイバーモジュール121と同数）設けられたアダプタ基板125と、光源基板124の他端部に水平に取り付けられると共に記録媒体Fに記録する画像の画像データに応じて合波ファイバーモジュール121を駆動するLDドライバー回路126（図15も参照）が設けられたLDドライバー基板127とが備えられている。

【0077】合波ファイバーモジュール121に接続された光ファイバー30の他端部には各々SC型光コネクタ125Aのプラグが設けられており、該プラグはアダプタ基板125に設けられたアダプタの一方の挿入口に嵌合されている。したがって、各合波ファイバーモジュール121から射出されたレーザービームは光ファイバー30によって、アダプタ基板125に設けられているアダプタの略中央位置まで伝送される。

【0078】また、LDドライバー基板127に設けられているLDドライバー回路126における合波ファイバーモジュール121の駆動用信号の出力端子は合波ファイバーモジュール121に個別に接続されており、各合波ファイバーモジュール121は、LDドライバー回路126によって各々個別に駆動が制御される。

【0079】一方、露光ヘッド130には、上記複数の合波ファイバーモジュール121から射出された各レーザービームBを取りまとめて射出するファイバーアレイ部131が備えられている。このファイバーアレイ部131には、各々アダプタ基板125に設けられた複数のアダプタの他方の挿入口に、一端部に設けられたSC型光コネクタのプラグが嵌合された複数のマルチモード光ファイバー170によって、各合波ファイバーモジュール121から射出されたレーザービームBが伝送される。

【0080】図14には、ファイバーアレイ部131を図12の矢印A方向に見た状態が示されている。同図に示すようにこのファイバーアレイ部131は、各々片面に合波ファイバーモジュール121の数の半数のV字溝が相隣接して設けられた2枚の基台131Aが、上記V字溝が対向するように配置されると共に、各V字溝に対して各光ファイバー170の他端部が1本ずつ嵌め込まれて構成されている。したがって、ファイバーアレイ部131からは、各合波ファイバーモジュール121から射出された複数のレーザービームが所定間隔ごとに同時に射出されることになる。

【0081】また、図12に示すように露光ヘッド130には、ファイバーアレイ部131側より、コリメータレンズ132、開口部材133、および結像レンズ134が順に配列されている。なお開口部材133は、開口部がファイバーアレイ部131のレーザービーム出射口からみてファーフ

(9)

15

ィールド (far field) の位置となるように配置されている。これによって、ファイバーアレイ部131における複数の光ファイバー170の出射端から出射された全てのレーザービームBに対して同等の光量制限効果を与えることができる。

【0082】一方、露光ヘッド移動部140には、長手方向が副走査方向に沿うように配置されたボールネジ141および2本のレール142が備えられており、ボールネジ141を回転駆動する副走査モータ143 (図15も参照) を作動させることによって、一部がボールネジ141に螺合された露光ヘッド130を、レール142に案内された状態で副走査方向に移動させることができる。

【0083】また、ドラム150は主走査モータ151 (図15も参照) を作動させることによって図12の矢印R方向に回転され、これによって主走査がなされる。

【0084】一方、冷却用ブロー160は、図12および図13に示すように、該冷却用ブロー160によって生成された冷却風の風向きが、該冷却風が光源基板124に設けられた放熱フィン123および全ての光ファイバー30の双方に当る方向となるように配置されている。したがって、冷却用ブロー160により生成された冷却風によって、各合波ファイバーモジュール121の駆動時における温度上昇を抑制することができると共に、各光ファイバー30を強制的に振動させることができる。

【0085】次に図15を参照して、この画像露光装置110Aの制御系の構成について説明する。同図に示すように該制御系は、画像データに応じて各合波ファイバーモジュール121を駆動するLDドライバー回路126と、主走査モータ151を駆動する主走査モータ駆動回路181と、副走査モータ143を駆動する副走査モータ駆動回路182と、冷却用ブロー160を駆動する冷却用ブロー駆動回路183と、LDドライバー回路126、主走査モータ駆動回路181、副走査モータ駆動回路182および冷却用ブロー駆動回路183を制御する制御回路180とを備えている。ここで制御回路180には、記録媒体Fに記録する画像を示す画像データが供給される。

【0086】次に、以上のように構成された画像露光装置110Aの作用について、図16に示すフローチャートを参照しつつ説明する。なお図16は、画像露光装置110Aによって画像記録を行う際の処理の流れを示すフローチャートである。

【0087】まず、記録媒体Fに記録する画像を担持した画像データを、画像記録に際して該画像の画像データを一時的に記憶する不図示の画像メモリから制御回路180に転送する (ステップS100)。制御回路180は、転送されてきた画像データ、および記録画像の予め定められた解像度を示す解像度データに基づいて調整された信号をLDドライバー回路126、主走査モータ駆動回路181、および副走査モータ駆動回路182に供給する。

【0088】次いで制御回路180は、冷却用ブロー160の

16

駆動を開始するように冷却用ブロー駆動回路183を制御する (ステップS102)。これにより、冷却用ブロー160によって生成された冷却風による各合波ファイバーモジュール121の冷却動作が開始されると共に、各光ファイバー30の振動が開始される。

【0089】ここで、各光ファイバー30の振動を、光ファイバー30から出射された光の光量変動を1主走査時間の間にランダム化させることができる振動とすることによって、記録媒体F上に記録される画像のむらを低減することができる。そこで本実施の形態では、このような振動とすることができる風量で、かつ本来の目的である放熱フィン123の冷却に必要とされる風量を実験やコンピュータ・シミュレーション等によって予め得ておき、この風量となるように冷却用ブロー駆動回路183が冷却用ブロー160の駆動を制御している。

【0090】次に主走査モータ駆動回路181は、制御回路180から供給された信号に基づいて上記解像度データに応じた回転速度でドラム150を図1の矢印R方向に回転させるように主走査モータ151を制御し (ステップS104)、副走査モータ駆動回路182は、上記解像度データに応じて副走査モータ143による露光ヘッド130の副走査方向に対する送り間隔を設定する (ステップS106)。

【0091】次にLDドライバー回路126は、画像データに応じて各合波ファイバーモジュール121の駆動を制御する (ステップS108)。

【0092】各合波ファイバーモジュール121から射出されたレーザービームBは、光ファイバー30、SC型光コネクタ125A、および光ファイバー170を介してファイバーアレイ部131から出射され、コリメータレンズ132によって平行光束とされた後、開口部材133によって光量が制限され、結像レンズ134を介してドラム150上の記録媒体Fに集光される。

【0093】この場合、記録媒体Fには、各合波ファイバーモジュール121から射出された複数のレーザービームBに応じて複数のビームスポットが形成される。これらのビームスポットにより、露光ヘッド130が上記ステップS106で設定された送り間隔のピッチで副走査方向に送られると共に、上記ステップS104により開始されたドラム150の回転によって、解像度が上記解像度データによって示される解像度となる2次元画像が記録媒体F上に露光、記録される (ステップS110)。

【0094】記録媒体F上への2次元画像の記録が終了すると、主走査モータ駆動回路181は主走査モータ151の回転駆動を停止し (ステップS112)、制御回路180は冷却用ブロー160の駆動を停止するように冷却用ブロー駆動回路183を制御し (ステップS114)、その後本処理を終了する。

【0095】本処理によって、記録媒体Fへの所定解像度による2次元画像の記録がなされると共に、この画像記録の間には冷却用ブロー160が駆動されるので、光フ

50

(10)

17

ファイバー30がランダムに振動され、光ファイバー30を伝搬するレーザービームに対して白色ノイズ的な雑音を重畳させることができ、その結果、記録された2次元画像にswathむらやビートむら等の画像むらが発生することを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による合波レーザー光源を示す平面図

【図2】上記合波レーザー光源を構成する半導体レーザーの部分を示す斜視図

【図3】上記合波レーザー光源を備えた紫外光高輝度合波ファイバーモジュールを示す平面図

【図4】上記紫外光高輝度合波ファイバーモジュールの側面図

【図5】上記紫外光高輝度合波ファイバーモジュールの部分正面図

【図6】上記合波レーザー光源に用いられたコリメーターレンズの側面図(1)と正面図(2)

【図7】上記合波レーザー光源に用いられた集光レンズの側面図(1)と正面図(2)

【図8】上記合波レーザー光源を複数用いる光源装置の斜視図

【図9】本発明の第2の実施の形態による合波レーザー光源を示す平面図

【図10】本発明の第3の実施の形態による合波レーザー光源を示す平面図

【図11】本発明の第4の実施の形態による合波レーザー光源を示す平面図

【図12】本発明の一実施の形態による露光装置の斜視図

18

【図13】上記露光装置の一部を示す斜視図

【図14】上記露光装置の一部を示す正面図

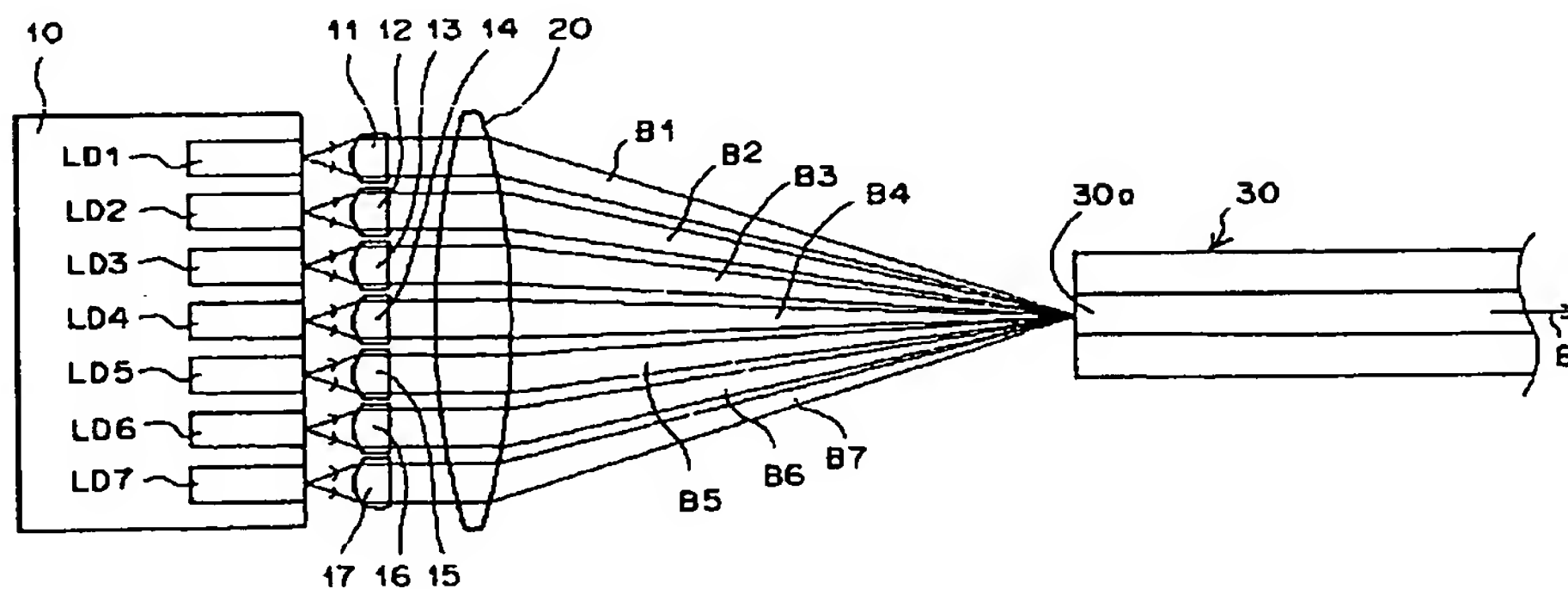
【図15】上記露光装置の電氣的構成を示すブロック図

【図16】上記露光装置における画像露光に関わる処理の流れを示すフローチャート

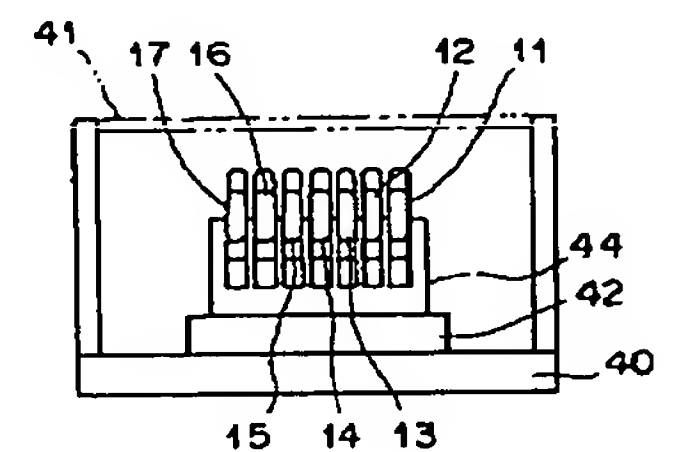
【符号の説明】

- 10 ヒートブロック
 11~17 コリメーターレンズ
 20 集光レンズ
 30 マルチモード光ファイバー
 30a マルチモード光ファイバーのコア
 50 コリメーターレンズアレイ
 110A 画像露光装置
 120 光源ユニット
 121 合波ファイバーモジュール
 130 露光ヘッド
 140 露光ヘッド移動部
 150 ドラム
 170 マルチモード光ファイバー
 250 合波光学系
 251 マルチモード光ファイバー
 261 マイクロレンズアレイ
 262 集光レンズ
 270 合波光学系
 LD1~7、LD11~15、LD21~28 GaN系半導体レーザー
 B1~7、B11~15、B21~28 レーザービーム
 B、B10、B20 合波されたレーザービーム
 F 記録媒体
 H11~15 集光レンズ

【図1】

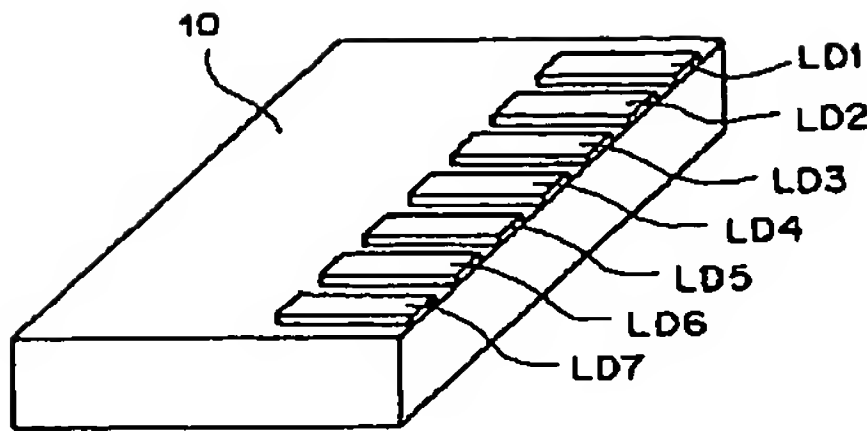


【図5】

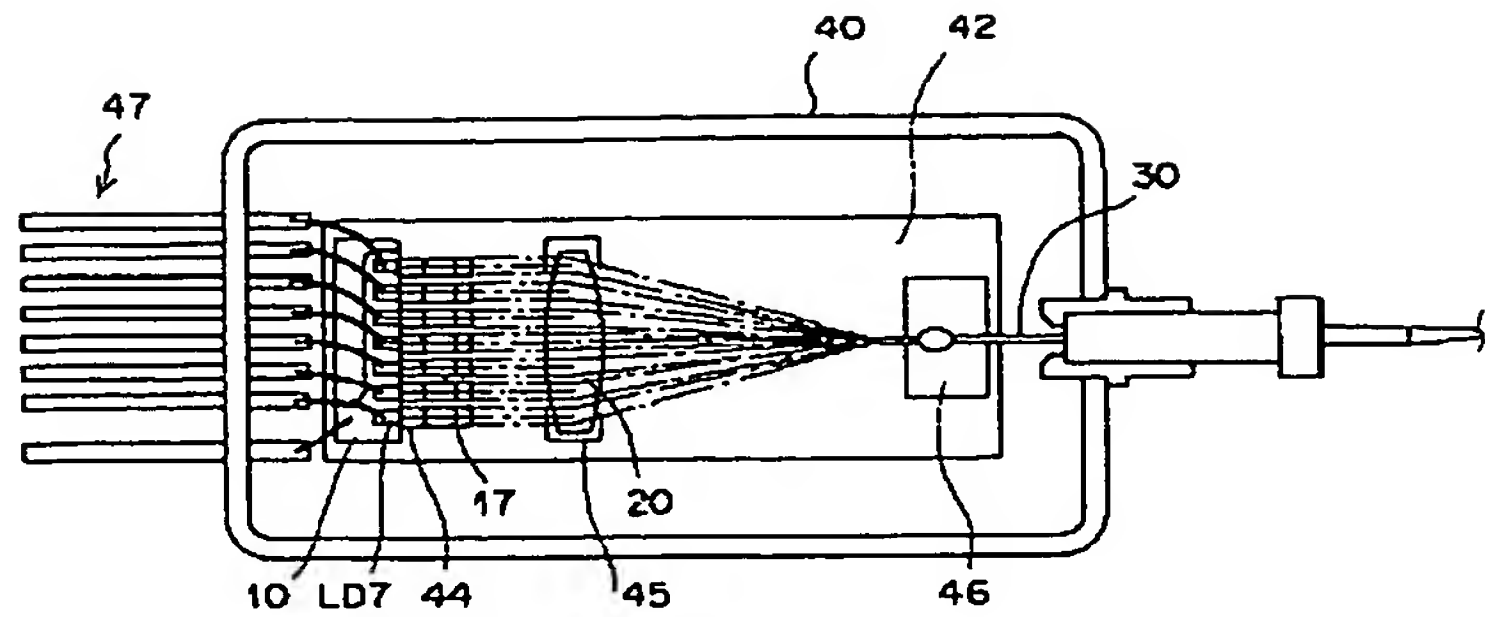


(11)

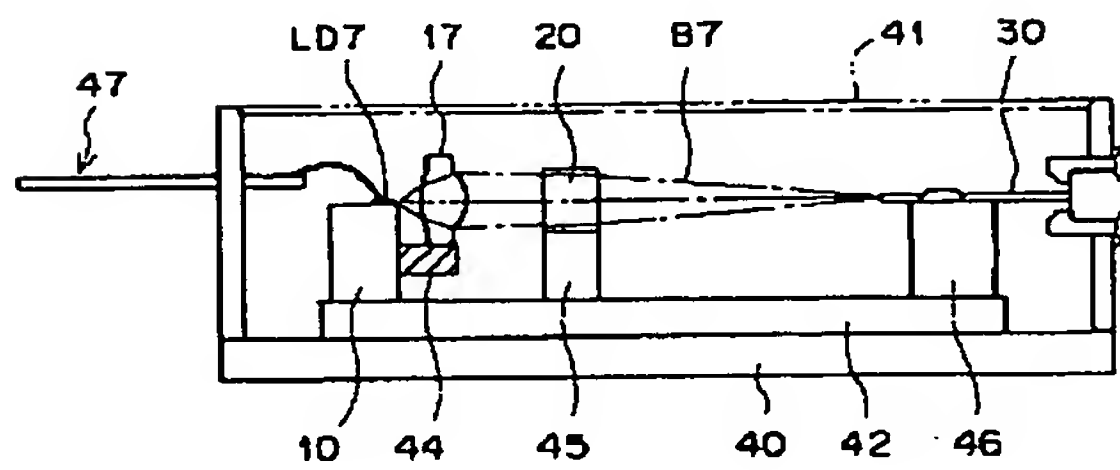
【図2】



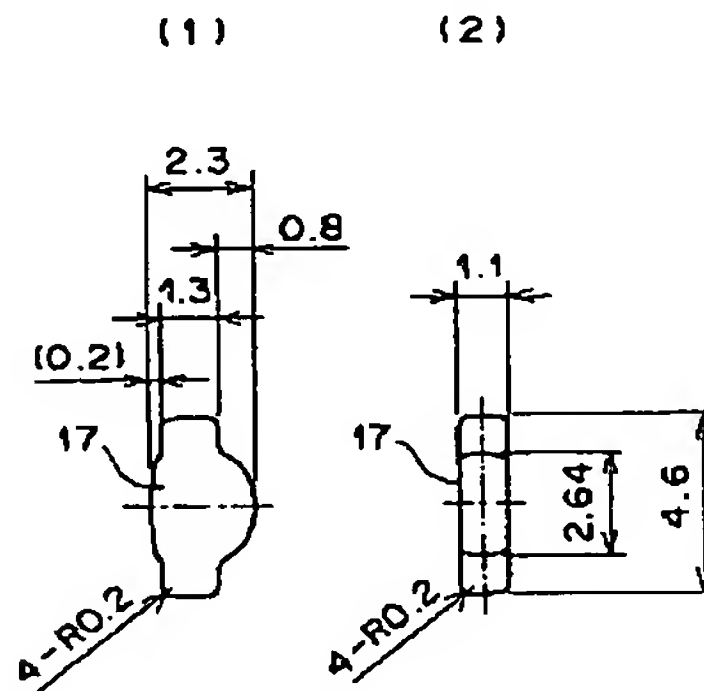
【図3】



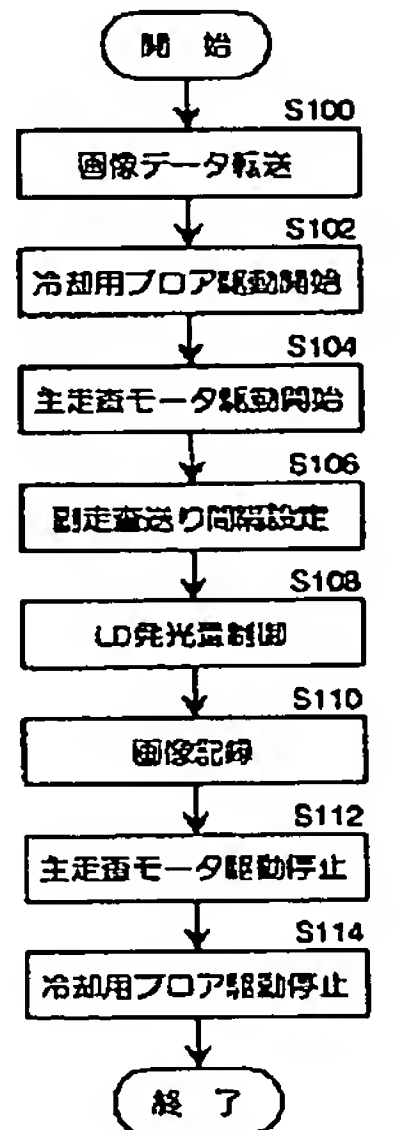
【図4】



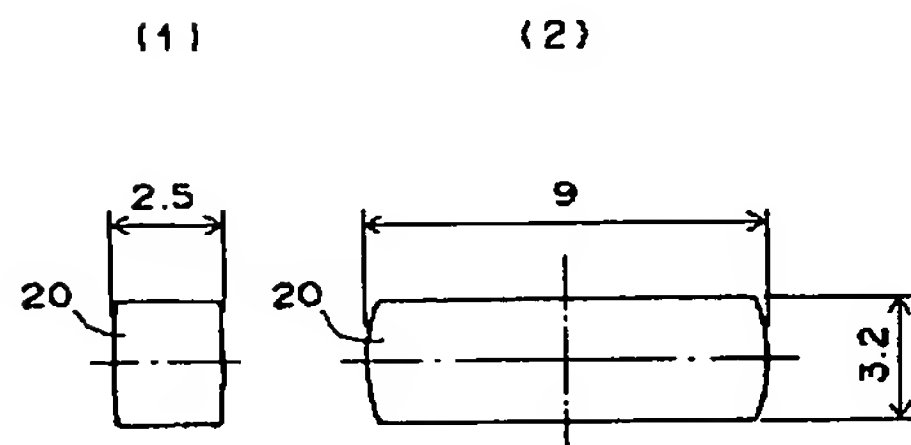
【図6】



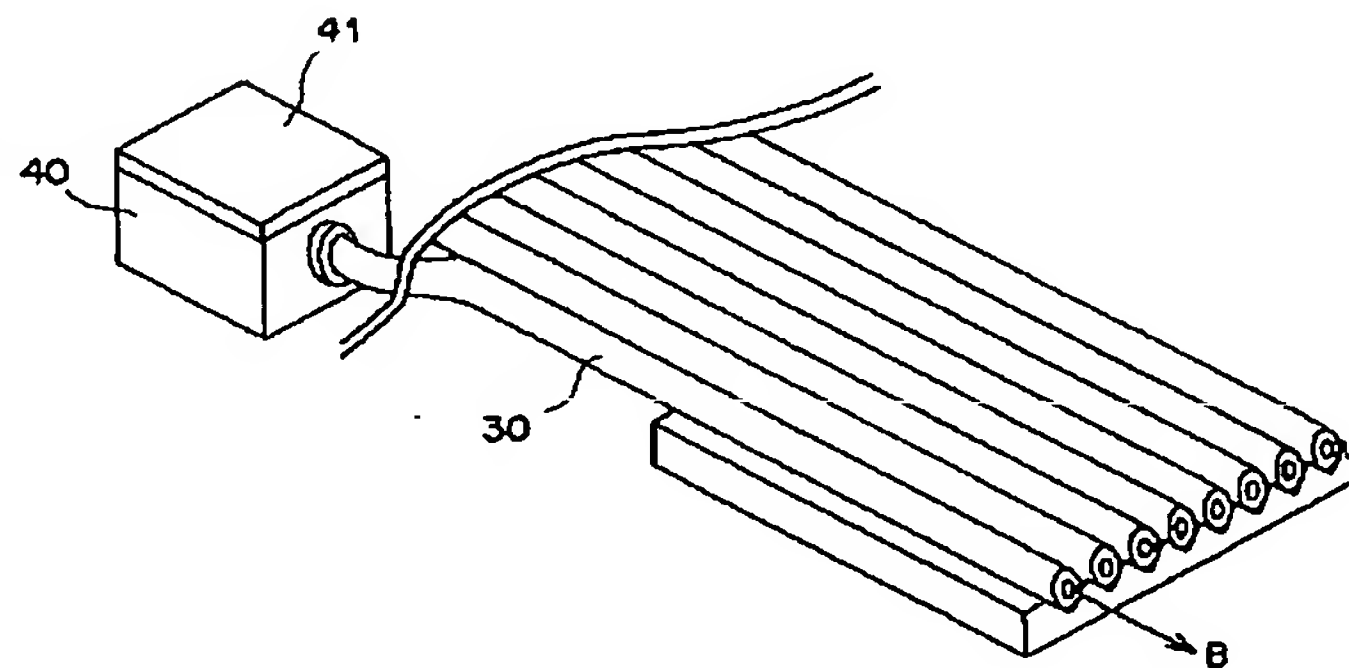
【図16】



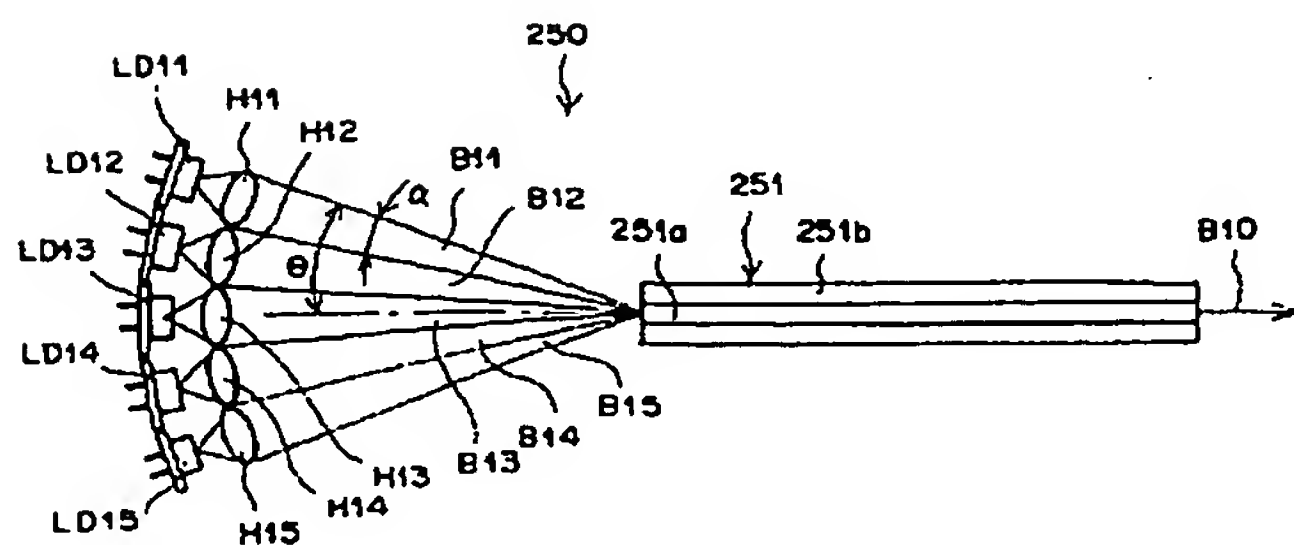
【図7】



【図8】

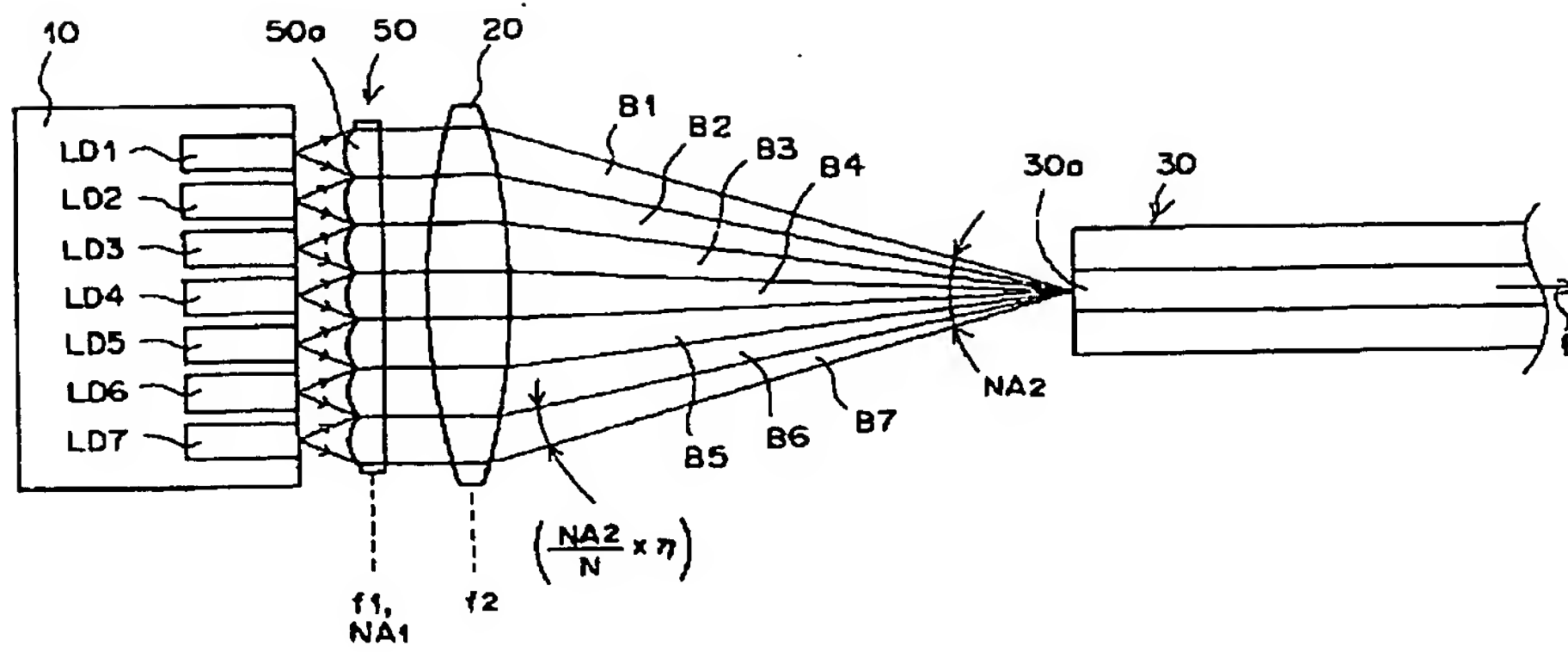


【図10】

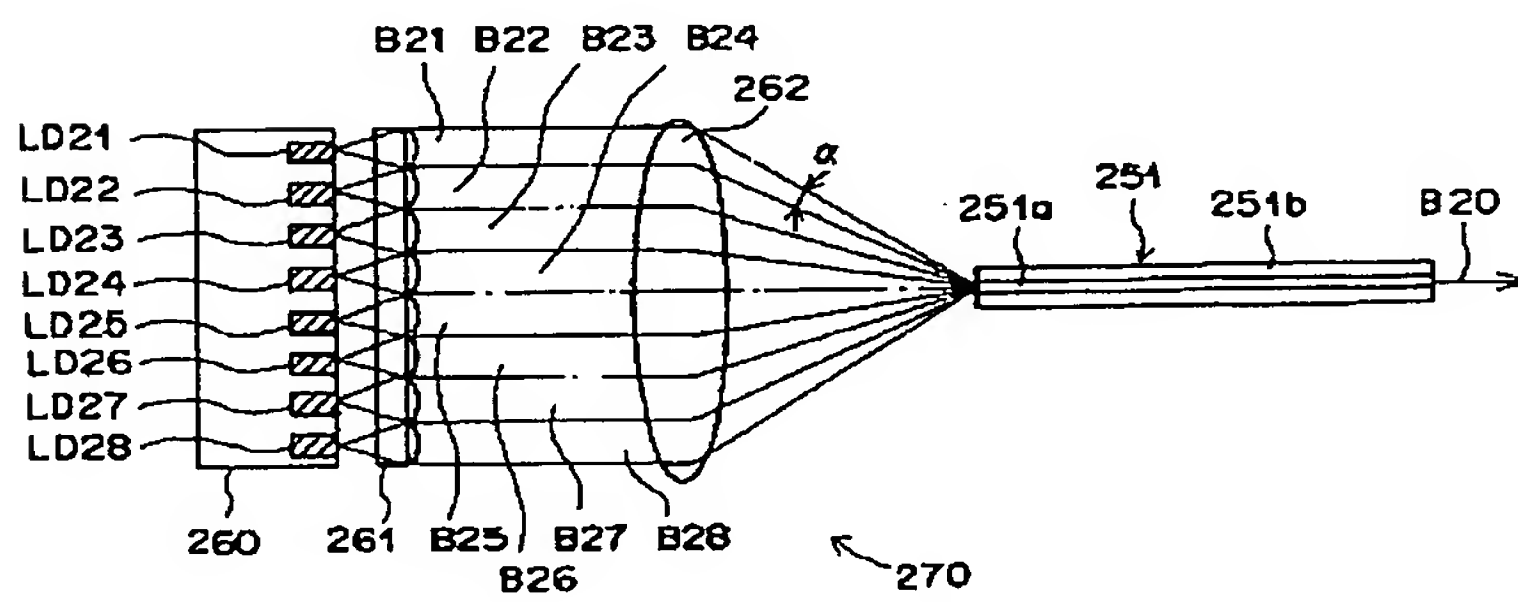


(12)

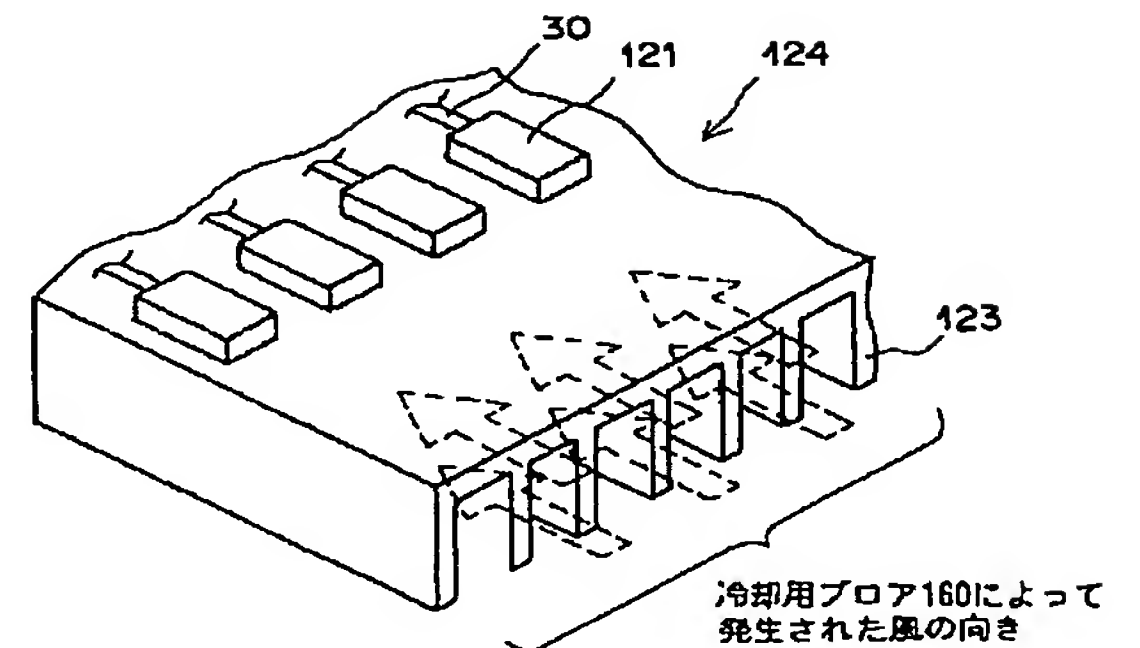
【図9】



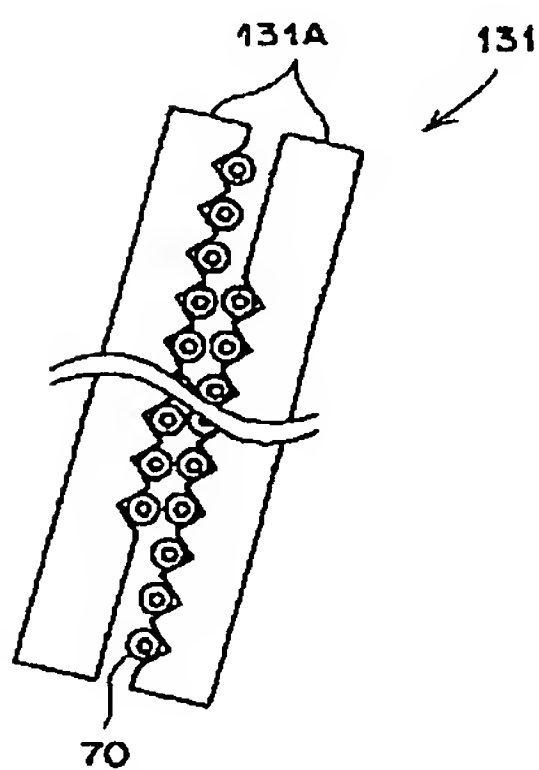
【図11】



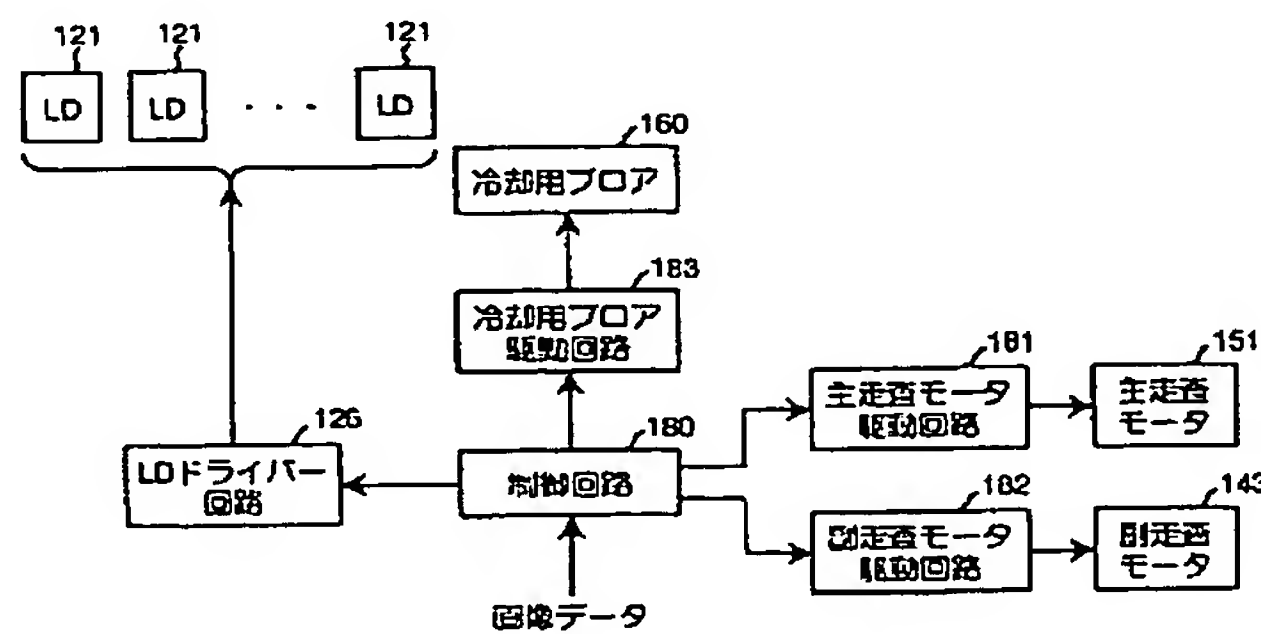
【図13】



【図14】

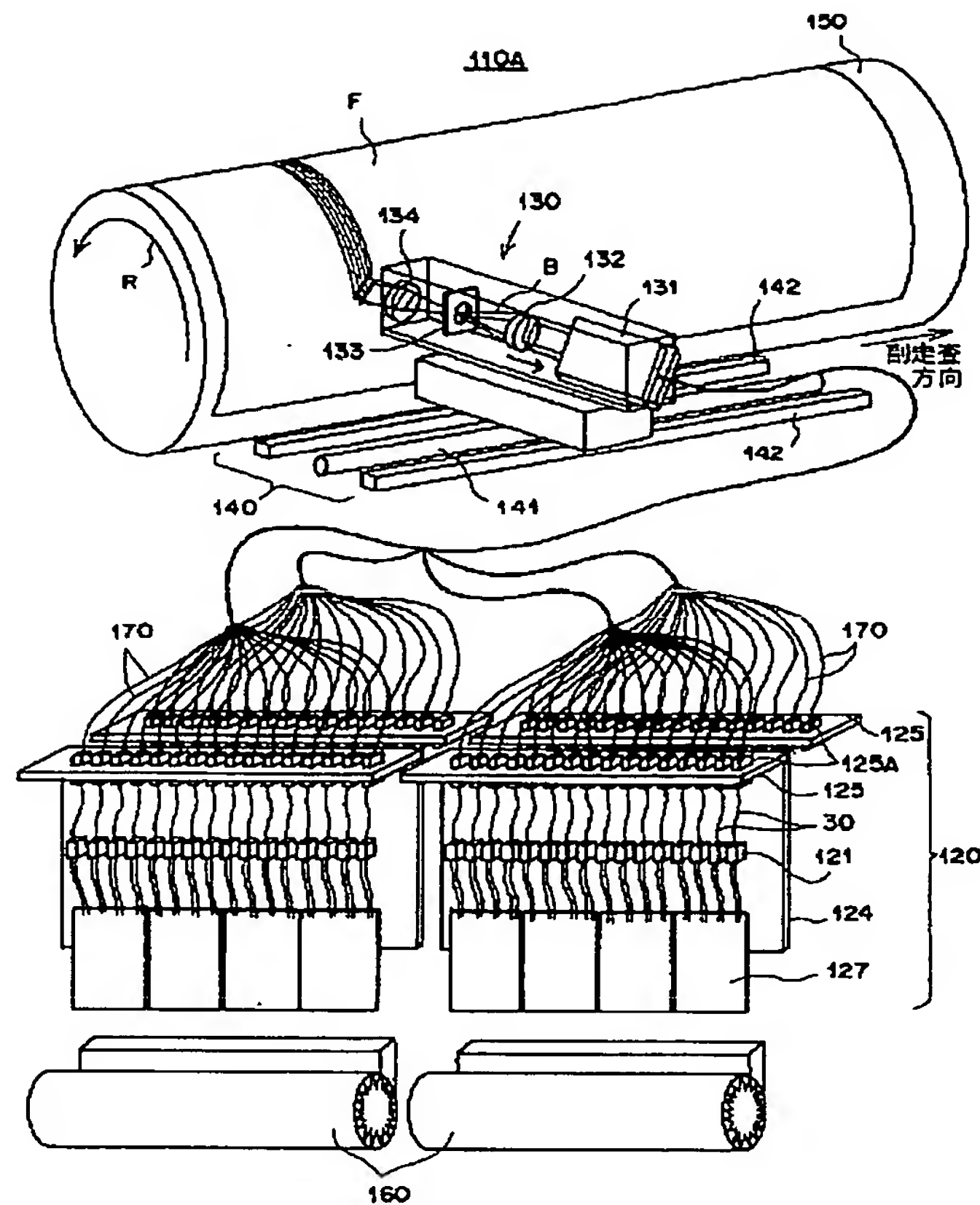


【図15】



(13)

【図12】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7
H 0 4 N 1/113

識別記号

F I
H 0 4 N 1/04

テーマコード* (参考)

1 0 4 Z

F ターム (参考) 2H037 AA03 BA03 BA05 DA03 DA04
DA05 DA06 DA18
5C051 AA02 CA07 DA02 DB02 DB22
DB25 DC02 DC04 DC07
5C072 AA03 HA02 HA06 HA10 HA20
5F073 AB15 AB27 AB28 BA09 CA07
EA24 FA07 FA08 FA14 FA24

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成15年8月15日（2003. 8. 15）

【公開番号】特開2002-202442（P2002-202442A）

【公開日】平成14年7月19日（2002. 7. 19）

【年通号数】公開特許公報14-2025

【出願番号】特願2001-273849（P2001-273849）

【国際特許分類第7版】

G02B 6/42

3/00

H01S 5/022

5/323 610

H04N 1/036

1/113

【F I】

G02B 6/42

3/00 A

H01S 5/022

5/323 610

H04N 1/036 A

1/04 104 Z

【手続補正書】

【提出日】平成15年4月30日（2003. 4. 30）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0090

【補正方法】変更

【補正内容】

【0090】次に主走査モータ駆動回路181は、制御回路180から供給された信号に基づいて上記解像度データに応じた回転速度でドラム150を図12の矢印R方向に回転させるように主走査モータ151を制御し（ステップ

S104）、副走査モータ駆動回路182は、上記解像度データに応じて副走査モータ143による露光ヘッド130の副走査方向に対する送り間隔を設定する（ステップS106）。

【手続補正2】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図12

【補正方法】変更

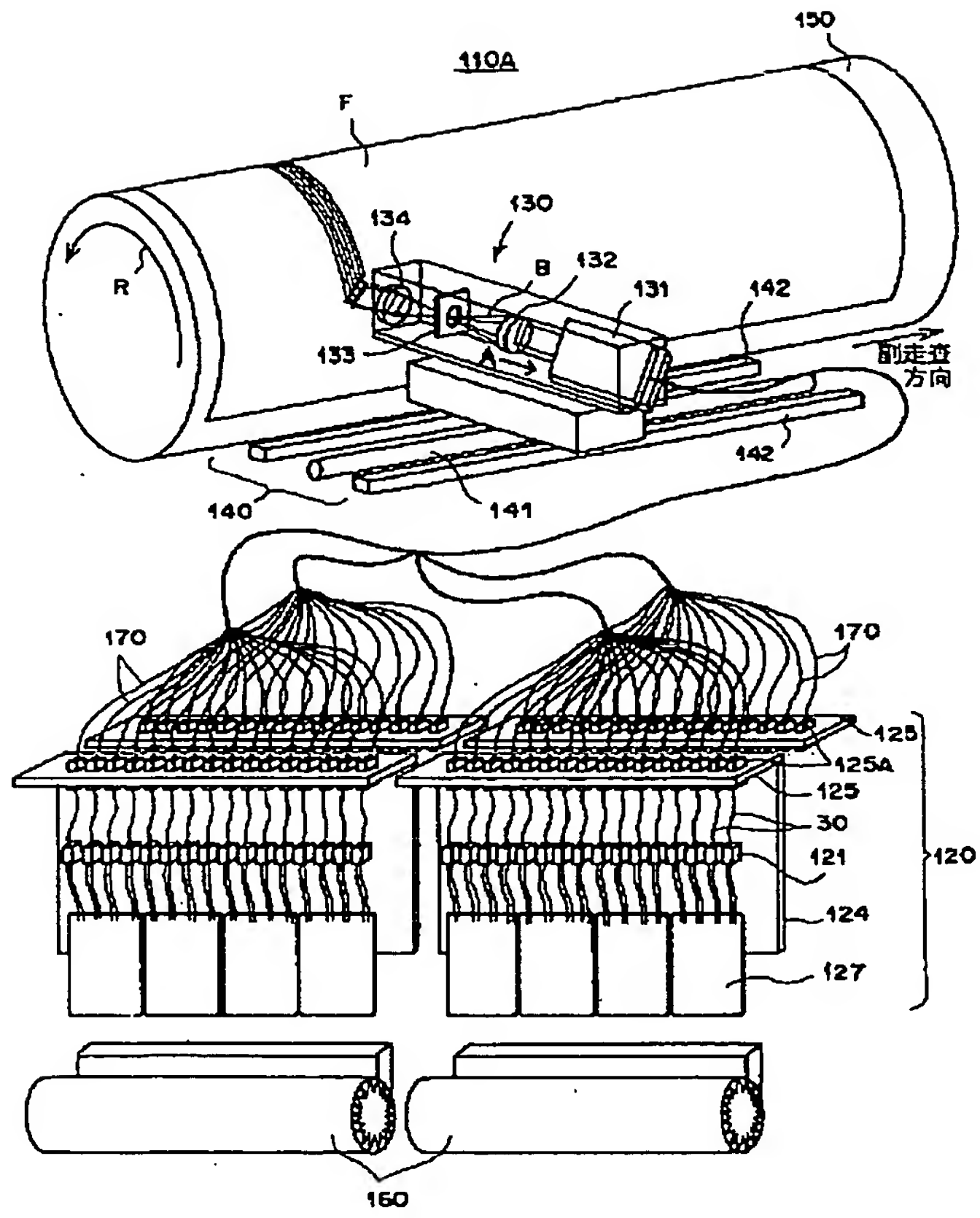
【補正内容】

【図12】

(2)

1

2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.